RELATÓRIO SÍNTESE

Segurança Operacional da UHE Pedra do Cavalo: Manutenção, Biocorrosão, Confiabilidade dos Equipamentos Hidromecânicos e Gestão Hidrológica

Revisão 2

Agosto de 2026

Documento elaborado com base em análise técnica de aspectos de manutenção, biocorrosão e confiabilidade operacional, integrados à segurança de barragens e à gestão hidrológica do empreendimento.

Histórico de Revisões
Rev. 0 – Versão inicial
Rev. 1 – Ajustes de estrutura e conteúdo técnico
Rev. 2 – Incorporação das considerações do Dr. Elzio Mistrelo (05/08/2026): ênfase em gestão de ativos e manutenção baseada em risco; integração entre equipes de operação, manutenção e segurança de barragens; e reforço da relevância da manutenção frente a eventos hidrológicos extremos associados às mudanças climáticas.

Elaboração técnica e consolidação:
Eng. Luiz Antônio de Moura Abdala
Engenheiro Civil – Especialista em Geotecnia e Segurança de Barragens

Este trabalho foi elaborado com auxílio da inteligência artificial Grok (xAI).

1. Introdução e Objetivo

A Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo, localizada no rio Paraguaçu (Bahia), desempenha papel estratégico no abastecimento de água da Região Metropolitana de Salvador e na regularização de vazões, além da geração de energia. Sua segurança operacional não se restringe à integridade estrutural do maciço da barragem, mas depende, de forma indissociável, da confiabilidade dos sistemas hidromecânicos, da capacidade de resposta operacional e da preparação para diferentes cenários hidrológicos.

Este Relatório Síntese tem por objetivo consolidar, de forma objetiva e tecnicamente consistente, a inter-relação entre: (i) os processos de manutenção e controle da biocorrosão; (ii) a confiabilidade dos equipamentos hidromecânicos (comportas, sistemas auxiliares, instrumentação e sistemas de acionamento); e (iii) a gestão hidrológica, incluindo volume de espera e sistemas de previsão em tempo real. A abordagem adotada reforça que esses temas são indissociáveis e devem ser tratados de forma integrada no âmbito da segurança de barragens.

2. Contexto Técnico e Operacional

2.1 Peculiaridades do Empreendimento

A UHE Pedra do Cavalo apresenta histórico conhecido de processos acelerados de corrosão e biofouling em estruturas metálicas em contato com a água de processo, especialmente no conduto forçado, turbinas e sistemas auxiliares. Estudos técnicos documentaram a influência de bactérias redutoras de sulfato (BRS), depósitos de manganês e atividade biótica na deterioração de componentes. Essas condições exigem estratégias de manutenção diferenciadas e monitoramento contínuo da integridade dos equipamentos hidromecânicos.

2.2 Segurança Além da Estrutura Civil

A segurança de uma barragem vai muito além da integridade estrutural do maciço. Ela depende, igualmente, da confiabilidade dos sistemas hidromecânicos, da capacidade operacional da usina e da preparação para responder, com rapidez e segurança, aos diferentes cenários hidrológicos. A falha ou a indisponibilidade de comportas, sistemas de acionamento ou instrumentação em momentos críticos pode comprometer significativamente a capacidade de controle de cheias e a segurança a jusante.

3. Manutenção, Biocorrosão e Confiabilidade dos Equipamentos Hidromecânicos

A confiabilidade dos equipamentos hidromecânicos deve estar inserida em uma **filosofia de gestão de ativos e manutenção baseada em risco**. Isso implica a adoção de inspeções preditivas, monitoramento contínuo e testes periódicos dos equipamentos críticos — em especial daqueles que precisam atuar em situações de emergência (comportas de vertedouro, sistemas de acionamento, fontes de energia de emergência, instrumentação de segurança e sistemas de comunicação).

No contexto específico de Pedra do Cavalo, o controle da biocorrosão e do biofouling deve ser tratado como componente estruturante do plano de manutenção. A experiência acumulada no empreendimento demonstra que a deterioração acelerada de componentes metálicos em contato com a água exige estratégias combinadas de proteção (materiais resistentes, proteção catódica quando aplicável, tratamento de água e limpeza periódica), além de critérios claros de substituição e de avaliação de vida residual.

Recomenda-se que o programa de manutenção incorpore:

• Inspeções preditivas e diagnósticos baseados em condição (vibração, análise de óleo, termografia, ultrassom, entre outros, conforme aplicável);

• Monitoramento contínuo de parâmetros críticos de desempenho e de integridade;

• Testes periódicos de operação sob condições controladas dos sistemas de emergência;

• Gestão de sobressalentes críticos e de prazos de reposição;

• Registro e análise de falhas, com feedback para o plano de manutenção e para a gestão de riscos;

• Critérios de priorização baseados em criticidade e em consequência de falha para a segurança da barragem e para a operação.

4. Integração entre Operação, Manutenção e Segurança de Barragens

A resposta adequada a um evento crítico depende tanto da condição dos equipamentos quanto da qualidade dos processos operacionais e da tomada de decisão. Por essa razão, é fundamental a **integração efetiva entre as equipes de operação, manutenção e segurança de barragens**.

Essa integração deve se materializar em:

• Procedimentos claros e treinados de comunicação e de escalonamento em situações de alerta ou emergência;

• Participação conjunta na definição de prioridades de manutenção e de intervenções que afetem a disponibilidade de sistemas de segurança;

• Compartilhamento de informações de monitoramento (instrumentação, hidrologia, estado dos equipamentos) em tempo útil;

• Simulações e exercícios periódicos que envolvam as três áreas, contemplando cenários de falha de equipamentos e de eventos hidrológicos extremos;

• Revisão periódica conjunta do Plano de Ação de Emergência (PAE) e dos procedimentos operacionais especiais.

A cultura de segurança de barragens se fortalece quando a manutenção deixa de ser vista apenas como atividade de suporte e passa a ser reconhecida como um dos pilares da gestão de risco do empreendimento.

5. Gestão Hidrológica, Volume de Espera e Previsão em Tempo Real

A inclusão da dimensão hidrológica neste relatório amplia seu alcance para além dos aspectos de manutenção e evidencia uma visão sistêmica da operação da usina. O volume de espera, as regras operacionais e a capacidade de previsão e de resposta em tempo real são elementos centrais da segurança operacional.

A ocorrência cada vez mais frequente de **eventos hidrológicos extremos**, associada às mudanças climáticas, reforça a necessidade de manter comportas, sistemas auxiliares e instrumentação em elevado nível de disponibilidade. Em cenários de cheias rápidas ou de volumes extremos, a capacidade de abrir e controlar as comportas de forma confiável e tempestiva torna-se fator determinante para a proteção a jusante e para a preservação da integridade do próprio empreendimento.

Nesse contexto, a manutenção deixa de ser apenas uma atividade de preservação de ativos e assume o papel de **um dos pilares da gestão de risco** desses empreendimentos. A disponibilidade dos sistemas hidromecânicos e da instrumentação deve ser tratada com o mesmo rigor aplicado aos aspectos estruturais e hidrológicos no âmbito da Política Nacional de Segurança de Barragens e das boas práticas internacionais.

6. Mensagem Central

> *A essência deste documento transmite uma mensagem extremamente importante: **a segurança de uma barragem vai muito além da integridade estrutural do maciço**. Ela depende, igualmente, da confiabilidade dos sistemas hidromecânicos, da capacidade operacional da usina e da preparação para responder, com rapidez e segurança, aos diferentes cenários hidrológicos.*

A abordagem integrada — que conecta manutenção, biocorrosão, confiabilidade de equipamentos, gestão de ativos baseada em risco, integração de equipes e gestão hidrológica — é a que melhor responde aos desafios contemporâneos de segurança operacional de barragens e usinas hidrelétricas, especialmente diante do aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos.

7. Recomendações Sintéticas

7.1 Gestão de Ativos e Manutenção Baseada em Risco

Formalizar a inserção da confiabilidade dos equipamentos hidromecânicos em um programa de gestão de ativos com priorização por risco, incluindo inspeções preditivas, monitoramento contínuo e testes periódicos de sistemas de emergência.

7.2 Controle da Biocorrosão

Manter e aprimorar o programa específico de controle de biocorrosão e biofouling, com critérios de inspeção, proteção e substituição baseados em evidência técnica e em histórico do empreendimento.

7.3 Integração Operação–Manutenção–Segurança de Barragens

Institucionalizar mecanismos permanentes de integração entre as equipes, com procedimentos, treinamentos e exercícios conjuntos voltados a eventos críticos.

7.4 Disponibilidade frente a Eventos Extremos

Tratar a disponibilidade de comportas, sistemas auxiliares e instrumentação como requisito de segurança, reforçando-a à luz do aumento da frequência de eventos hidrológicos extremos associados às mudanças climáticas.

7.5 Gestão Hidrológica e Previsão

Fortalecer a articulação entre as regras operacionais (incluindo volume de espera), os sistemas de previsão em tempo real e a capacidade real de resposta dos sistemas hidromecânicos.

8. Autoria, Contribuições e Qualificações

Este Relatório Síntese foi elaborado e consolidado pelo Eng. Luiz Antônio de Moura Abdala, engenheiro civil com especialização em geotecnia e segurança de barragens, com mais de quarenta anos de experiência em projetos de infraestrutura de grande porte, incluindo obras hidrelétricas e análise de segurança de barragens.

O documento contou com a análise e as considerações técnicas do **Dr. Elzio Mistrelo**, cuja contribuição foi incorporada nesta Revisão 2. O Dr. Elzio Mistrelo é engenheiro civil, com certificação PMP (Project Management Professional), e atua como diretor comercial da SETEC Hidrobrasileira Obras e Projetos Ltda. (subsidiária do Grupo Setec). É responsável técnico pela SETEC na área de saneamento, diretor administrativo-financeiro da APECS (Associação Paulista das Empresas de Consultoria e Serviços em Saneamento e Meio Ambiente) e integrante do conselho da ABCE (Associação Brasileira de Consultores

de Engenharia). Possui ampla experiência em gestão de projetos multidisciplinares de infraestrutura, estudos e projetos de aproveitamentos hidroelétricos, barragens de contenção de rejeitos e empreendimentos de saneamento e meio ambiente.

O trabalho também se beneficia do diálogo técnico com o **Dr. Armando Juliani** (Armando Carlos Cardoso Juliani), engenheiro com formação pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e longa trajetória em empresas do setor de energia, incluindo posições de administração e liderança na Siemens Energy Brasil e empresas coligadas (Power and Industrial Applications, Turbocare, entre outras). Sua experiência abrange soluções de geração de energia, equipamentos e sistemas associados a usinas e à confiabilidade de ativos energéticos.

Este trabalho foi elaborado com auxílio da inteligência artificial Grok (xAI), utilizada como ferramenta de apoio à estruturação, consolidação e redação técnica do documento, sob supervisão e responsabilidade técnica do autor principal.

> *As opiniões e recomendações aqui apresentadas têm caráter técnico-consultivo e destinam-se a contribuir para o aprimoramento da discussão sobre segurança operacional de barragens e usinas hidrelétricas. Não substituem análises de projeto, inspeções oficiais ou decisões regulatórias das autoridades competentes.*

Documento elaborado em agosto de 2026.
Revisão 2 – Incorporação das considerações do Dr. Elzio Mistrelo.